

**БИОСЕНСОР РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НА БАЗЕ ДЛИННОПЕРИОДНОЙ
И БРЭГГОВСКОЙ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК**

О.Г. Морозов¹, О.А. Степущенко², Т.С. Садеев¹, И.Р. Садыков¹

(¹ Казань, КГТУ им. А.Н.Туполева (КАИ), microoil@mail.ru;

² Казань, МВД по РТ, soa@mail.ru)

**PARALLEL STRUCTURE REFRACTOMETRIC BIOSENSOR
BASED ON LPG AND FBG WITH PHASE π – SHIFT**

O.G. Morozov, O.A. Stepustchenko, T.S. Sadeev, I.R. Sadykov

Цель данной работы – показать возможность одновременного измерения, как коэффициента преломления, так и температуры в рефрактометрических датчиках параллельного типа. Решение данной задачи достигнуто применением в биосенсорах параллельного включения длиннопериодной решетки, решетки Брэгга и решетки Брэгга с фазовым π -сдвигом, а также использованием для их зондирования перестраиваемого двухчастотного излучения, полученного с помощью модуляционного метода Ильина-Морозова в модуляторе Маха-Цандера.

Технология волоконно-оптических рефрактометров на основе ВРБ становится одной из самых востребованных в биологических и химических информационно-измерительных системах. Однако существенная чувствительность ВРБ к температурным изменениям приводит к значительным погрешностям в измерении коэффициента преломления (КП). В связи с этим актуальной становится задача одновременного измерения как КП, так и температуры.

При исследовании процесса гибридизации ДНК, который длится более получаса, в условиях квазистабильной по тепловому режиму лаборатории необходим прецизионный контроль температуры, определяющей стабильность параметров зондирующего сигнала. При экспресс-контроле химических сред, например, определении октанового числа топлива, датчик погружается в материал с отличной от окружающей среды температурой, что вызывает мгновенное изменение его выходного сигнала под воздействием изменений обоих факторов.

Разработан широкий спектр волоконно-оптических датчиков рефрактометрического типа для одновременного измерения КП и температуры, отличных по применяемым типам сенсоров, модовому взаимодействию, конструкции. Следует выделить рефрактометры на ВРБ и длиннопериодных решетках (ДПР), основанные соответственно на взаимодействии мод сердцевин и мод оболочки. Как правило, это датчики, построенные на основе последовательно соединенных ВРБ, ДПР, их секций или их комбинаций с различными параметрической чувствительности покрытиями. Кроме указанных комбинаций существуют комбинации решеток и волоконно-оптических интерферометров, например, Фабри-Перо или Маха-Цандера [1].

Все приведенные конструкции представляют собой биосенсоры рефрактометрического типа последовательной структуры, основанные на одном принципе, измерении сдвига двух длин волн или их разности, при этом каждая из этих волн более чувствительна к одному из параметров, чем к другому. Такой принцип измерений требует высокобюджетной измерительной аппаратуры, включающей широкополосный стабильный источник излучения, анализатор спектра, программное обеспечение для обработки и повышения разрешающей способности измерений.

С учетом рассмотренных положений нами предложена параллельная структура ОБРТ, основанная на использовании ВРБ с π -сдвигом и двухчастотном методе зондирования как ее центрального лоренцевского контура пропускания, так и внешнего гауссова контура отражения. Обработка сигнала ведется для огибающих на соответствующих промежуточных частотах для каждого из контуров. При этом формируется двухконтурная система измерений с «грубым» гауссовским и «точным» лоренцевским контурами. Данная методика позволила достичь увеличения разрешающей способности до 0,005 нм, повышения чувствительности

на 1-2 порядка и значительного упрощения техники сбора информации в оптических биосенсорах рефрактометрического типа, построенных на основе волоконных решеток Брэгга [2].

Моделирование ОБРТ параллельной структуры проводилось в программных оболочках OptiGrating и OptiSystem фирмы Optiwave. В качестве среды измерения, как и в [2], был выбран этанол в различных концентрациях, при этом его температура могла изменяться от 10 до 80°C. Для подогрева и проведения анализов использовался температурный стабилизатор с кюветой биологических и химических растворов, разработанный в НИИ ПРЭФЖС, с возможностью дискретного изменения концентрации этанола в воде от 0 до 100%.

1. Получена зависимость положения центральной частоты и амплитуды системы «ДПР-ВРБ-π» при изменении концентрации этиленгликоля в указанном диапазоне:

– «синий» сдвиг в диапазоне 0,8 нм с уменьшением амплитуды (коэффициента пропускания) на 2-3 дБ;

– стоящая параллельно ВРБ с фазовым π-сдвигом не меняет своего спектрального положения;

– изменяется амплитуда отраженного сигнала ВРБ с фазовым π-сдвигом, которая является функцией сдвига центральной частоты ДПР (ВРБ спектрально расположена в центре квазилинейного склона ДПР).

2. Получена зависимость положения центральной частоты и амплитуды системы «ДПР-ВРБ-π» при изменении температуры в указанном диапазоне:

– «красный» сдвиг ВРБ в диапазоне 0,8 нм с увеличением амплитуды (коэффициента отражения) на 2-3 дБ.

3. Получена зависимость положения центральной частоты и амплитуды системы «ДПР-ВРБ-π» при изменении концентрации этиленгликоля и температуры в указанных диапазонах:

– «синий» или «красный» сдвиг ВРБ в диапазоне «±» 0,4 нм с изменением амплитуды (коэффициента отражения) на 20-30 дБ.

4. Составлена калибровочная и измерительная таблица сдвигов центральной частоты, изменения коэффициентов отражения (пропускания), температуры и концентрации этиленгликоля.

Полученные в результате моделирования данные сравнивались с полученными на практике [3] и смоделированными для другой системы датчиков [4] также для раствора этиленгликоля в воде. Показано хорошее совпадение данных во всех трех случаях. Аналогичные данные получены для системы «ДПР-ВРБ».

Литература

1. Wei, L. Highly sensitive fiber Bragg grating refractive index sensors / L. Wei, H. Yanyi, X. Yong, R. K. Lee, A. Yariv // *Applied Physics Letters*. – 2005. – V. 86. – P. 151122.
2. Морозов, О.Г. Биосенсор рефрактометрического типа параллельной структуры на базе ВРБ с фазовым π-сдвигом / Морозов О.Г. и др. // *Материалы X МНТК «ФТПВП»*, Самара, 2011.
3. Yinian, Zhu. A long-period grating refractometer: measurements of refractive index sensitivity / Zhu Yinian, Chong Joo Hin, Rao MK, Haryono H, Yohana A, Shum Ping, et al. // *Proceedings SBMOI IEEE MTT-S IMOC*, 2003.
4. Enriquez, D. A. C. Hybrid FBG-LPG sensor for surrounding refractive index and temperature simultaneous discrimination / D. A. C. Enriquez, Alberto R. da Cruz, Maria Thereza M. Rocco Giralddi // *Optics & Laser Technology*. – 2012. – N. 44. – P. 981–986.